

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

**05-06-57**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання практичних робіт  
із навчальної дисципліни  
**«ФІЗИКА З ОСНОВАМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
СИСТЕМ»**

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за  
освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій»  
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості  
ННІАЗ  
Протокол № 6 від 31.03.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання практичних робіт із навчальної дисципліни «Фізика з основами інформаційних систем» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Лебедь О. О., Гаращенко В. І., Гульчук В. А., Мислінчук В. О. – Рівне : НУВГП, 2020. – 49 с.

Укладачі:            Лебедь О. О., канд. техн. наук, доцент кафедри хімії та фізики НУВГП;  
                              Гаращенко В. І., канд. техн. наук, доцент кафедри хімії та фізики НУВГП;  
                              Гульчук В. А., старший викладач кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та методики викладання інформатики РДГУ;  
                              Мислінчук В. О., канд. пед. наук, доцент кафедри методики фізики та хімії РДГУ.

Відповідальний за випуск: Гаращенко В. І., к.т.н., доцент, завідувач кафедри хімії та фізики.

Керівник групи забезпечення спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Мошинський В. С.

© Лебедь О. О.,  
Гаращенко В. І.,  
Гульчук В. А.,  
Мислінчук В. О., 2020  
© НУВГП, 2020

## ЗМІСТ

Передмова .....	4
Практична робота № 1 Визначення лінійної щільності інформації оптичних носіїв персонального компютера .....	5
Практична робота № 2 Визначення розмірів пікселів рідкокристалічних екранів смартфонів .....	15
Практична робота № 3 Визначення радіуса кривизни лінзи CD-ROM комп'ютера за допомогою кілець Ньютона.....	26
Практична робота № 4 Поляризація світла. Перевірка закону Малюса.....	34
Практична робота №5 Дослідження зовнішнього фотоефекту.....	41
Література .....	46
Додаток 1 .....	48
Додаток 2 .....	49

## ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки до виконання практичних робіт із навчальної дисципліни «ФІЗИКА З ОСНОВАМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ» призначені для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання і підготовлені відповідно до робочої програми даної дисципліни.

В основу методичних вказівок покладено навчальний посібник «Фізичні основи комп'ютерно-інтегрованих інформаційних систем» авторів О.О. Лебедя, В.О. Мислінчука та В.Й. Пастушенка для студентів напрямів підготовки 193 «Геодезія та землеустрій» Національного університету водного господарства та природокористування.

**Метою** проведення практичних робіт є засвоєння студентами фізичних принципів та методів роботи сучасної комп'ютерної техніки, оволодіння навиками проведення наукового експерименту.

**Завданням** методичних вказівок є практичне вивчення студентами магнітних та оптичних фізичних методів запису, читання та зберігання інформації, реалізованих в сучасних пристроях комп'ютерної техніки: моніторах, жорстких дисках, принтерах, головках запису (читання) тощо. Вивчення лабораторного практикуму дозволить студентам на практиці визначати фізичні характеристики та можливості застосування комп'ютерів, їх периферії та носіїв, встановити закономірності зміни інтенсивності світла, яке пройшло поляризатор та аналізатор, та залежність фотоструму від різниці потенціалів при дослідженні фотоелемента.

Кожний студент виконує 5 практичних робіт. Результатом виконання практичної роботи є оформлення звіту за зразком, поданим в додатках 1 та 2. Після здачі звіту студент відповідає на контрольні запитання до відповідної роботи.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЙНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ОПТИЧНИХ НОСІЇВ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА**

**Мета роботи:** Визначити лінійну щільність інформації (кількість біт на одиницю довжини доріжки) компакт-диску.

### **Теоретичні відомості**

Серед перспективних методів запису та відтворення комп'ютерної інформації на переносних носіях сучасні технології пропонують оптичний метод.

Серед переваг цього методу можна виділити:

1. високу щільність запису інформації ( $10^5 \text{ біт/мм}^2$  і вище);
2. відсутність (в багатьох, але не у всіх випадках) безпосереднього контакту між носієм і системою запису/читання;
3. швидкодію;
4. завадостійкість;
5. різноманітність способів практичної реалізації, яка базується на великій кількості механізмів взаємодії світла з реєструючими середовищами.

В засобах оптичного зберігання інформації запис і зчитування здійснюються за допомогою лазерного променя на диск, що обертається. Для зручності надалі оптичні носії називатимемо просто дисками. Стандарти комп'ютерних оптичних технологій можна розділити на три основні групи: CD (CD-ROM, CD-R, CD-RW), DVD (DVD-ROM, DVD-RAM, DVD-R, DVD+RW, DVD+R) та BD (BD-ROM, BD-R, BD-RE).

Найбільш поширеними оптичними накопичувачами є компакт-диски CD-ROM (Compact Disc Read-Only Memory – пам'ять лише для читання на компакт-диску). Це оптичний носій інформації, призначений тільки для читання даних. Інші формати CD-R і CD-RW дозволяють записувати дані на компакт-диск.

Оптичний носій інформації CD-ROM може зберігати до 650 Мбайт даних, що відповідає приблизно 333 тис. сторінок

тексту, 74 хв високоякісного звучання або їх комбінації. Окрім того, 80 хв диски містять до 737 Мбайт інформації.

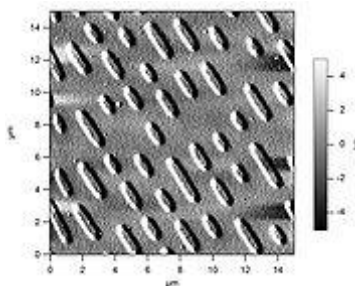
Компакт-диск – це полікарбонатна пластина діаметром 120мм і товщиною 1,2мм, в центрі якої розташований отвір діаметром 15мм. Штампована або лита основа пластини є однією спіральною доріжкою, яка починається на внутрішній і закінчується на зовнішній частині диска. Крок цієї доріжки становить 1,6мкм. Для порівняння крок доріжки вінілової платівки складає приблизно 125мкм. Якщо розглянути спіральну доріжку під мікроскопом, то помітно, що вона складається з впадин, які називають штрихами або *пітами* і плоских поверхонь між ними, які називаються площадками або *лендами* (див. рис. 1.1).

Лазерний промінь, який використовують для зчитування інформації з компакт-диску, може вільно пройти крізь прозорий пластик, тому відформована поверхня диска покривається відбивною металевою плівкою (як правило алюмінієвою), а потім тонким шаром акрилового лаку.

Зчитування інформації – це процес реєстрації коливаний променя малопотужного лазера, відбитого від металевої поверхні диска. Лазер посилає сфокусований промінь світла на нижню частину диска, а світлочутливий фоторецептор реєструє відбитий промінь. Якщо промінь потрапляє на площадку, то завжди відбивається, а якщо потрапляє на впадину, то не відбивається.



CD-ROM



CD-ROM під електронним мікроскопом

Рис. 1.1. Компакт-диск

Диск обертається над лазером і рецептором (світлоприймачем), тому лазер неперервно випромінює світло, а рецептор приймає періодичні спалахи, які повторюють конфігурацію пітів і лентів, які сканує лазерний промінь. Кожна зміна відбитого сигналу, викликаного перетином межі впадини, перетворюється в *біт* зі знаком 1. Мікропроцесори накопичувача перераховують переходи світлий-темний і темний-світлий (тобто межі пітів) в одиниці (1); ділянка, яка не містить переходів, сприймається нулем (0).

Довжина впадин або площадок компакт-диску визначається системою кодування інформації на ньому. У прийнятій на даний час системі кодування Ріда-Соломона прийнято, що між двома одиницями може знаходитись від двох до десяти нулів. Тому мінімальна довжина впадин або площадок складає 0,9 мкм, максимальна – 3,31 мкм. Розміщення впадин і площадок, які утворюють доріжку компакт-диска, зображено на рис. 1.2.

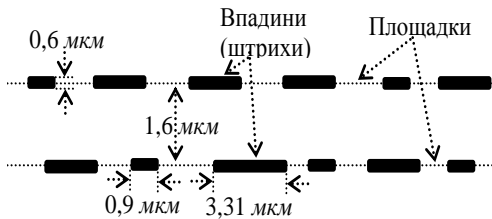


Рис. 1.2. Структура пітів і лентів CD-диска

Висота впадини відносно площини площадки має особливе значення, оскільки вона безпосередньо пов'язана із довжиною хвилі лазерного променя, що застосовується під час читання диску. Висота впадини (піта) точно дорівнює 1/4 довжини хвилі лазерного променя. Таким чином, лазерний промінь, що потрапив на площадку, проходить відстань, яка на половину довжини хвилі ( $1/4 + 1/4 = 1/2$ ) менша відстані, що проходить відбитий від впадини промінь. Глибину впадини можна визначити за формулою

$$h = \frac{\lambda}{n \cdot 4} = \frac{780 \text{ нм}}{1,55 \cdot 4} = 125,8 \text{ нм},$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі лазера при зчитуванні з CD – диска;  $n$  – показник заломлення середовища (пластика).

Тому, глибина окремих впадин, що утворюють доріжку компакт-диска, дорівнює 0,125 мкм. Ширина впадин визначається можливостями фокусування променя і становить 0,6 мкм.

Падаючі на впадину і відбиті від неї світлові хвилі збуджуватимуть коливання з протилежною фазою, тобто внаслідок інтерференції ці хвилі гаситимуть одна одну. Внаслідок чого впадини, не зважаючи на покриття металевою дзеркальною плівкою, стають «чорними» (тобто не відбивають лазерного світла). Натомість від площадок світло відбиватиметься добре і вони для фотодавача будуть «світлими».

Зазначимо, що розглянуті вище технічні характеристики CD-ROM стосуються лише одного із його видів, а саме 650 Мбайт. Натомість, сучасна промисловість пропонує до використання CD-ROM-ми ємністю 700 Мбайт, технічні характеристики яких наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Технічні параметри CD-ROM та DVD

Тип диска	CD-ROM	DVD
Довжина хвилі лазера, нм	780	650
Довжина компакт-диска, хв.	80	
Ємність компакт-диска, MiB*	700	
Відстань між витками, мкм	1,60	0,74
Кількість витків в одному міліметрі	676	1351
Загальна довжина доріжки, м	6240	11836
Ширина впадини, мкм	0,6	0,40
Глибина впадини, мкм	0,125	0,105
Номінальна довжина піта (мінімальна), мкм	0,9	0,40
Номінальна довжина піта (максимальна), мкм	3,31	1,87
Середня довжина одного біта, мкм	0,67	0,1333
Середня довжина одного байта, мкм	5,36	1,07

\* - 1 MiB дорівнює 1048576 байт.



Відносно незначне збільшення ємності 700 *Мбайт* CD-ROM у порівнянні із 650 *Мбайт* технічно досягається лише за рахунок зменшення відстані між доріжками.

Значного збільшення ємності запису інформації дозволяє технологія застосування DVD-дисків, де використовується лазер із меншою довжиною світлової хвилі.

DVD (Digital Versatile Disc) – це цифровий універсальний диск або, простіше кажучи, компакт-диск високої ємності. У відповідності з оригінальним стандартом, DVD є одностороннім, одношаровим диском і містить 4,7 *Гбайт* інформації (DVD-5). Технологія їх виготовлення та геометричні розміри такі ж, як і в CD дисків. Проте, на відміну від останніх, DVD можуть мати два шари запису на кожній поверхні і бути одно- або двосторонніми. Ємність двошарових односторонніх дисків (DVD-9) складає 8,5 *Гбайт*, одношарових двохсторонніх дисків (DVD-10) – 9,4 *Гбайт*, двошарових двохсторонніх дисків (DVD-17) – 17,1 *Гбайт*.

BD (англ.: Blu-ray Disk – диск з використанням синього променя) поступив у продаж в 2002 році. У дисках BD в якості записуючого і зчитуючого променя використовується лазерний промінь з довжиною хвилі 405нм. При такій довжині хвилі висота піта становить 0,065мкм, що ставить високі вимоги до якості поверхні диску. Для збереження її від ушкоджень сучасні BD випускаються в захисних картриджах. За принципом запису і читання інформації BD не відрізняються від CD та DVD. У сучасних розробках BD, які ще не поступили у продаж, ємність 10-шарових дисків сягає 320 *Гбайт*.

Технічні характеристики DVD наведені в таблиці 1.1.

У даній роботі пропонується оцінити методами фізичного експерименту лінійну щільність інформації тобто, скільки *біт* інформації припадає на одиницю довжини доріжки диска. Для реалізації даного завдання можна використати явище дифракції світлових хвиль на дифракційній решітці.

Найпростіша дифракційна решітка – це система великої кількості (до 1000 на 1мм) однакових щілин або борозен. Прикладом дифракційної решітки є доріжки компакт-диску.

Віддаль між серединами сусідніх щілин (борозен) називають сталою решітки або її періодом ( $d = BD$  на рис. 1.3).

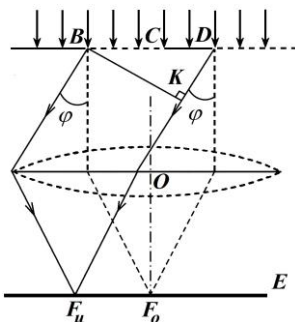


Рис. 1.3. Дифракція на дифракційній решітці

Під час проходження через решітку у випадку щілин або відбивання від неї у випадку борозен світло дифрагує під різними кутами  $\varphi$ . Паралельні дифраговані промені збираються лінзою у фокальній площині. Дифракційна картина спостерігається у вигляді низки максимумів та мінімумів. На рис. 1.4 зображено розподіл інтенсивності світла  $I$  від кута дифракції  $\varphi$ . Максимуми великої інтенсивності називаються головними, а малої – побічними.

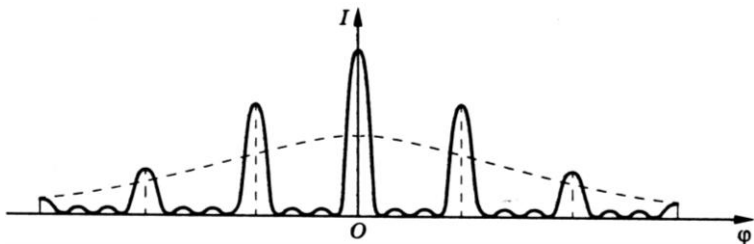


Рис. 1.4. Розподіл інтенсивності світла  $I$  від кута дифракції  $\varphi$

Розглянемо два паралельні дифраговані промені, які йдуть, наприклад, від країв двох сусідніх щілин (рис. 1.3).  $BK$  – перпендикуляр до цих променів (фронт хвилі), а  $DK$  – різниця ходу променів. Як видно з рисунка, ця різниця ходу дорівнює  $DK = d \sin \varphi$  ( $BD = d$ ). Їй відповідає різниця фаз

$$\Delta\psi = \frac{2\pi}{\lambda} DK = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi. \quad (1)$$

Така ж різниця фаз буде між результуючими коливаннями двох сусідніх щілин.

Якщо світло падає нормально на решітку, то виконуються такі умови:

**для головних максимумів**

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \dots); \quad (2)$$

**для головних мінімумів**

$$b \sin \varphi = n\lambda, \quad (n = 1, 2, 3, \dots); \quad (3)$$

де  $b$  – ширина щілини ( $b = BC$ ),

**для додаткових мінімумів**  $d \sin \varphi = \pm \frac{k\lambda}{N}, \quad (4)$

( $k$  – довільні цілі додатні числа, крім 0,  $N$ ,  $2N$ ,  $3N$ , ...).

Тут  $d$  – стала решітки ( $d = BD$ ),  $N$  – кількість щілин решітки).

Якщо джерело випромінює немонохроматичне світло, то решітка розкладає його в спектр. При  $\varphi = 0$  виникає максимум нульового порядку. Його положення співпадає для всіх довжин хвиль. По обидві сторони від центрального максимуму розташовані максимуми вищих порядків.

### **Опис експериментальної установки та виведення робочої формули**

Схема експериментальної установки зображена на рис. 5. До екрану  $E$  з бічною стінкою  $C$  приєднано компакт-диск  $D$ . Джерелом світла слугує лазер  $L$ , розміщений перпендикулярно до площини диска так, щоб відбитий промінь, який відповідає центральному дифракційному максимуму, потрапляв назад у вихідне вікно лазера. Внаслідок дифракції відбитої хвилі від борозен компакт-диска на бічній стінці екрану спостерігається 1 або 2 головні дифракційні максимуми у вигляді світлих плям. Вимірявши відстань  $h$  від краю стінки до середини дифракційної плями, що відповідає  $k$ -тому максимуму, та відстань  $\ell$  від бічної

стілки до точки падіння променя (рис. 1.5), можна визначити кут дифракції

$$\sin \varphi = \frac{\ell}{\sqrt{h^2 + \ell^2}}. \quad (5)$$

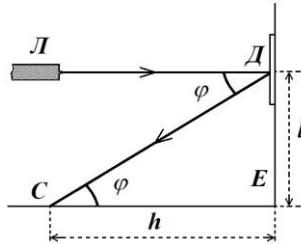


Рис. 1.5. Схема експериментальної установки

Використовуючи (4) отримуємо вираз для знаходження періоду дифракційної решітки (відстані між сусідніми борознами компакт-диска)

$$d = \frac{k\lambda\sqrt{h^2 + \ell^2}}{\ell}. \quad (6)$$

Число біт інформації, яка розміщується на диску, можна визначити, знаючи його паспортну ємність. Оскільки 1 *байт* містить 8 *бітів* інформації, а 1 *кілобайт* відповідає 1024 *байти*, то загальну кількість бітів на диску необхідно обчислювати за формулою

$$N = n \cdot 1024^m \cdot 8, \quad (7)$$

де  $n$  – цифра, вказана на маркуванні ємність CD -, або DVD-диска.

(Для CD ємністю 700 MB  $N = 700 \cdot 1024^2 \cdot 8 = 5,87 \cdot 10^9 \text{ біт}$ . Відповідно для DVD ємністю 4,7 GB  $N = 4,7 \cdot 1024^3 \cdot 8 = 4,04 \cdot 10^{10} \text{ біт}$ ).

Довжина ділянки диска, яка припадає на один біт, дорівнює  $x = \frac{S}{Nd}$ , де  $S$  – площа робочої поверхні диска, яка обчислюється за значеннями її зовнішнього  $D_1$  і внутрішнього  $D_2$  діаметрів

$$S = \frac{1}{4} \pi (D_1^2 - D_2^2). \quad (8)$$

Згідно виразів (6), (8) та вищевказаних співвідношень формула довжини ділянки диска, яка припадає на один біт, набуває вигляду

$$x = \frac{\pi (D_1^2 - D_2^2) \ell}{4 N k \lambda \sqrt{h^2 + \ell^2}}. \quad (9)$$

Лінійна щільність інформації на диску визначається за наступною робочою формулою

$$y = \frac{1}{x} = \frac{4 N k \lambda \sqrt{h^2 + \ell^2}}{\pi (D_1^2 - D_2^2) \ell}. \quad (10)$$

### **Хід роботи**

1. Закріпити на екрані CD-R компакт-диск.
2. Ввімкнути лазер і добитись того, щоб відбитий промінь, який відповідає центральному дифракційному максимуму, потрапляв назад у вихідне вікно лазера.
3. Лінійкою виміряти на бічній стінці екрану відстані  $h$ , що відповідають першому та другому основним дифракційним максимумам (рис. 5).
4. Лінійкою виміряти відстань  $\ell$  від бічної стінки до точки падіння променя (рис. 5).
5. Зняти компакт-диск і штангенциркулем виміряти зовнішній  $D_1$  і внутрішній  $D_2$  діаметри його робочої поверхні.
6. Записати в таблицю значення довжини хвилі лазера  $\lambda$ , вказаної на його тильній торцевій поверхні.
7. Результати вимірювань занести до таблиці.
8. Виконати пункти 1-7 для DVD диска (вимірювання провести для першого основного дифракційного максимуму (рис. 5)).

### **Обробка результатів вимірювань**

1. Обчислити лінійну щільність інформації на диску CD і DVD компакт-дисків у, для кожного порядку за формулою (10).

- Обчислити середнє значення  $y_{cp} = \frac{y_1 + y_2}{2}$  для CD-диску.
- Обчислити відносну і абсолютну похибки величини  $y$  для DVD-диску, записати кінцевий результат.

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \frac{4(D_1^2\Delta D_1^2 + D_2^2\Delta D_2^2)}{(D_1^2 - D_2^2)^2} + \frac{h^2\ell^2\Delta h^2 + h^4\Delta\ell^2}{(h^2 + \ell^2)^2\ell^2}},$$

$$\Delta y = \varepsilon y.$$

**Таблиця вимірювань**

	<b>CD</b>		<b>DVD</b>
$D_1, м$			
$D_2, м$			
$\lambda, м$	$0,63 \cdot 10^{-6}$		$0,63 \cdot 10^{-6}$
$N, біт$	$5,87 \cdot 10^9$		$4,04 \cdot 10^{10}$
$K$	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
$\ell, м$			
$h, м$			
$y, біт/м$			
$y_{cp}, біт/м$			

### **Контрольні запитання**

- В чому полягають переваги оптичного перед магнітним та напівпровідниковим методами запису та відтворення комп'ютерної інформації?
- Назвіть основні групи стандартів оптичних технологій запису інформації.
- Описати технологію запису (зчитування) інформації на CD-ROM, CD-R та DVD-R.
- Як відбувається запис інформації на диски CD-RW та DVD-RW?
- Порівняти технічні характеристики CD-ROM, DVD та BD.

6. Як визначити число біт інформації на диску? За якою формулою обчислюється загальна кількість бітів на диску?
7. За якою формулою визначається лінійна щільність інформації на диску? Вивести цю формулу.
8. У чому полягає явище інтерференції світла? Що таке когерентні промені?
9. Записати і пояснити умови максимумів і мінімумів світла у випадку інтерференції когерентних променів.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ПІКСЕЛІВ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ ЕКРАНІВ СМАРТФОНІВ

**Мета роботи:** вивчити будову і принцип роботи рідкокристалічних моніторів, визначити середні розміри пікселів екрану смартфону.

### Теоретичні відомості

Інформаційний зв'язок між користувачем і комп'ютером забезпечують найчастіше монітор і принтер. У перших комп'ютерів практично не було засобів індикації. Користувач мав у своєму розпорядженні набір ламп, які могли світитися, або роздруківку результатів роботи на принтері. Все змінилося з появою моніторів. **Монітор (дисплей)** – це пристрій для перетворення цифрової і (або) аналогової інформації у відеозображення.

Перші монітори були дуже примітивні, текст у них відображався тільки в одному, зеленому кольорі. Все ж їх поява стала важливим технологічним проривом, оскільки дала можливість вводити і виводити дані в пам'ять комп'ютера в режимі реального часу. Пізніше з'явилися кольорові монітори, збільшився розмір екрану, виникли різноманітні технології їх виготовлення. Технічні характеристики сучасних моніторів можуть задовольнити найвибагливішого користувача.

Серед великої кількості технічних параметрів моніторів найголовнішим є *роздільна здатність* монітора. Це лінійний

розмір мінімальної деталі, яку можна розрізнити на екрані. Даний параметр характеризується кількістю елементів розкладу – **пiкселів (pixel)** – по горизонталі і вертикалі екрана. Чім більша кількість пікселів, тим більш детальне зображення формується на екрані.

Серед найбільш вживаних моніторів на даний час можна виділити LCD-монітори, плазмові (PDP)-монітори і кінескопи (CRT).

Робота LCD-монітора (Liquid Cristal Display, рідкокристалічний монітор (РК-монітор)) базується на явищі поляризації світла. Відомо, що світлова хвиля складається з багатьох цугів електромагнітних хвиль, які випромінюються окремими атомами. Площина коливань (площина коливань світлового вектора – вектора напруженості електричного поля  $\vec{E}$ ) для кожного цугу орієнтована випадково. Тому в природному світлі коливання різних напрямків швидко і хаотично змінюють одне одного. Світло, в якому напрямки коливань якимось чином впорядковані, називається поляризованим. Якщо коливання світлового вектора відбувається в одній площині, світло називають *плоскополяризованим*. Площина, в якій коливається світловий вектор, називається *площиною коливань*. Площину, перпендикулярну до площини коливань, називають *площиною поляризації* (рис. 2.1).

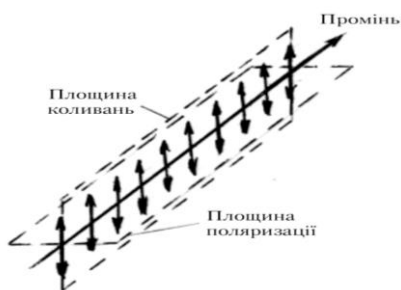


Рис. 2.1. Площина коливань та площина поляризації плоскополяризованого променя

Плоскополяризоване світло можна отримати з природного за допомогою поляризаторів. Ці прилади вільно пропускають коливання, паралельні до площини поляризатора і повністю затримують коливання, перпендикулярні до цієї площини.

Головною складовою екранів РК -



моніторів є цианофеніл – речовина, яка знаходиться в рідкому стані, але має деякі властивості кристалічних тіл. Зокрема, вона має властивість поляризувати світло. Вигляд молекул цианофенілу показано на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Молекули цианофенілу

Екран LCD-монітора складається з масиву пікселів, якими можна керувати при відображенні інформації (див. рис. 2.3 і 2.4).

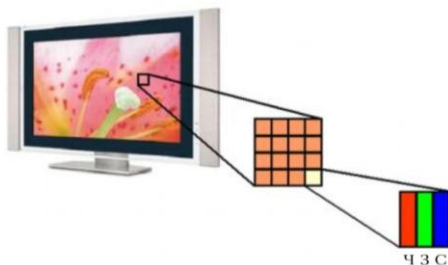


Рис. 2.3. Екран LCD-монітора

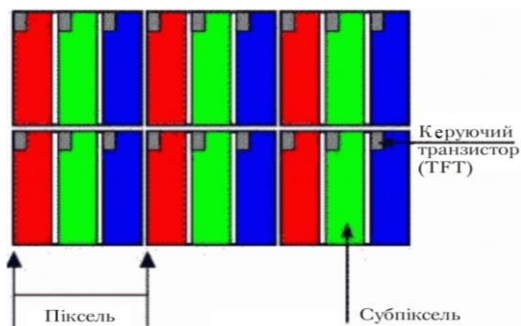


Рис. 2.4. Масив пікселів екрану LCD-монітора

Цей екран має декілька шарів, серед яких основну роль відіграють дві панелі, виготовлені з вільного від натрію і дуже чистого скляного матеріалу (називають субстратом або основою), між якими власне і знаходиться тонкий шар рідких кристалів (див. рис. 2.5). На панелях основи є борозни, які направляють молекули ціанофенілу, надаючи їм певну орієнтацію. Борозни панелей основи перпендикулярні між собою. Світло від лампи заднього (або бокового) освітлення, проходячи через поляризуючу плівку попадає на перше TFT-скло основи поляризованим. LCD – рідкі кристали повертають площину поляризації світла на  $90^\circ$ , внаслідок чого воно проходить через скло другої основи, кольоровий фільтр і вихідний поляризуючий фільтр не послаблюючись. Для керування інтенсивністю вихідного світла служить керуюча напруга, яка подається на кожний субпіксел між двома основами (див. рис. 2.6 і 2.7).

Ця напруга, в залежності від величини, може змінювати орієнтацію головної осі LCD-молекул, таким чином регулюючи інтенсивність світла на виході з другого поляризатора.

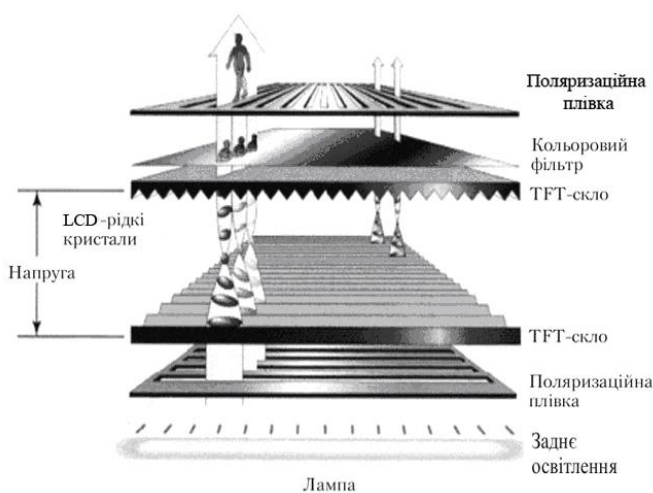


Рис. 2.5. Принцип роботи LCD-монітора

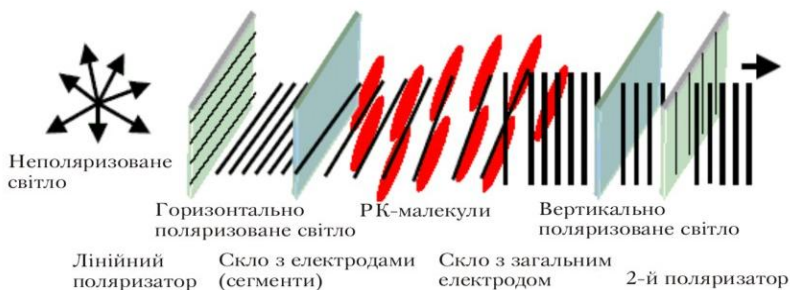


Рис. 2.6. Принцип роботи LCD-монітора

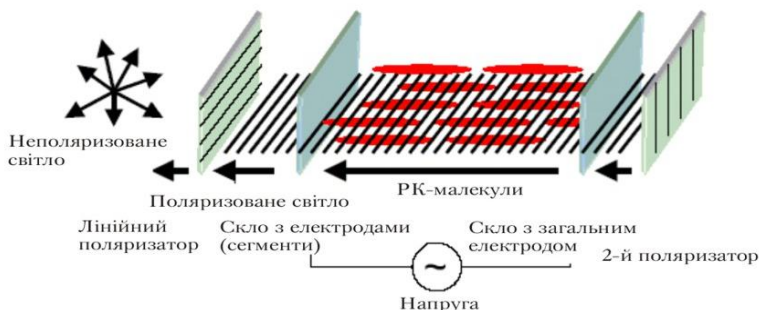


Рис. 2.7. Принцип роботи LCD-монітора

Принцип дії PDP-монітора базується на свіщенні люмінофора під дією ультрафіолетового випромінювання, яке виникає після плазмового розряду. Кожний субпіксел PDP-панелі є флюоресцентною мініампулою (200мкм x 200мкм x 100мкм), яка може випромінювати світло тільки однієї довжини хвилі (рис. 2.8). Це забезпечується покриттям поверхонь ламп трьома видами люмінофора. На таку лампу з інертним газом (ксеноном або неоном), що знаходиться між прозорими хромоїдними електродами, подається висока напруга, яка викликає плазмовий розряд. Відбувається розпад інертного газу на позитивнозаряджені іони і електрони, які під дією прикладеної напруги рухаються до катода і анода відповідно. При своєму русі електрони збуджують нейтральні атоми газу, що, в свою

чергу, призводить до випромінювання ними хвиль ультрафіолетового діапазону. Ультрафіолетове випромінювання, попадаючи на основу пікселя, покриту люмінофором, викликає свічення останнього у видимому діапазоні хвиль. Поверхня кожного пікселя покрита своїм люмінофором для отримання світла певного кольору. Величиною керуючої напруги регулюється яскравість свічення пікселя. Принципова схема PDP-екрана представлена на рис. 2.9.

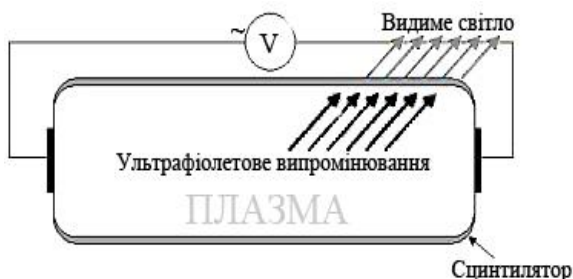


Рис. 2.8. Будова субпікселя плазмової панелі

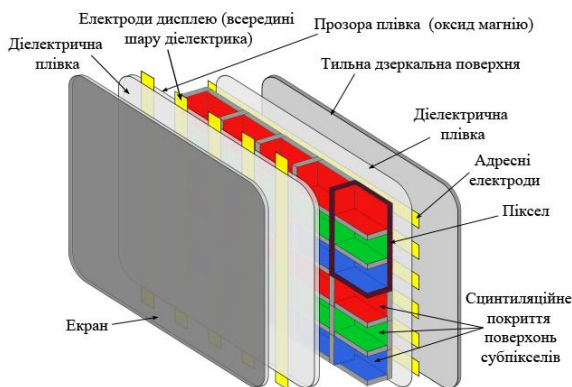


Рис. 2.9. Принципова схема PDP-екрана

Електронно-променевий монітор, кінескоп (CRT-Cathode Ray Tube, ЕПТ – електронно-променева трубка). Принцип роботи цього монітора базується на **технології емісії**

**електронів.** Отримуючи сигнал від керуючих систем комп'ютера (рис. 2.10), монітор своєю електронно-променевою гарматою **П** випускає потік електронів з катода **К** через отвір в аноді **А** на екран **Е**, який складається з „тіньової маски” (для кольорових моніторів) і скляної пластини з люмінесцентним покриттям (люмінофор) **Л**. На екрані створюється зображення. Керує потоком електронів відхиляюча система **С<sub>1</sub>** і **С<sub>2</sub>**, яка за допомогою електромагнітного поля змінює напрямок руху потоку електронів. Цей потік, проходячи через тіньову маску, попадає на люмінофор. Люмінофор – речовина, атоми якої випромінюють світлові промені видимого діапазону при бомбардуванні його зарядженими частинками.

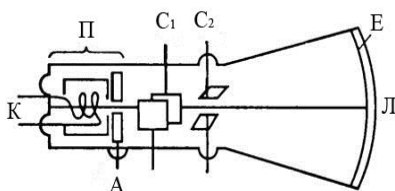


Рис.2.10. Електронно-променевий монітор

Отже, ЕПТ мають наступні основні елементи:

1. Електронна гармата (для чорно-білих моніторів – одна, для кольорових – три);
2. Відхиляюча система, тобто набір електронних „лінз” для формування пучка електронів;
3. Тіньова маска, яка забезпечує точне попадання електронів від певної гармати в необхідну точку екрану;
4. Шар люмінофору, який формує зображення при попаданні електронів на екран.

В свою чергу електронна гармата складається із підігрівача, катода, що емітує потік електронів, і модулятора, що прискорює і фокусує пучок електронів.

Порівняльні характеристики LCD, PDP і CRT представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Порівняльні характеристики LCD, PDP і CRT

Параметр	PK (LCD)	Плазма (PDP)	Кінескоп (CRT)
1	2	3	4
Принцип Роботи	Управління світлом лампи підсвічування, яке проходить через шар рідких кристалів за рахунок зміни ними площини поляризації	Свічення люмінофора екрану під дією ультрафіолетових променів при розряді в плазмі	Свічення люмінофора екрану під дією електронного променя, який формується електронною гарматою
Ресурс Роботи	60000 год. – лампа підсвічування; 250000 год. – робота екрану	25000 год.	25000 год.
Яскравість	170 до 500 $cd/m^2$ (кандела/м <sup>2</sup> )	300 до 1000 $cd/m^2$	80 до 300 $cd/m^2$
Контрастність	Від 150:1 до 600:1	Від 200:1 до 3000:1	Від 350:1 до 750:1
Кут огляду	Від 10° до 170°	Близький до 180°	Близький до 180°
Час реакції пікселя	Від 15 до 50мс	не помітно оку	не помітно оку
Дефекти Екрану	допускаються	допускаються	Ні
Якість фокусування	ідеальна	ідеальна	від задовільного до дуже доброго

Продовження таблиці 2.1			
1	2	3	4
Геометричні викривлення	ні	ні	Можливі
Можливі роздільні здатності	встановлені	встановлені	Різні
Однорідність Свічення	незначно яскравіше по краям	рівномірне	незначно яскравіше в центрі
Вплив магнітних полів	ні	ні	Так
Температура корпусу під час роботи	незначна	висока	Середня
Потужність, яка використовується	мала	висока	Середня
Ціна для великих розмірів екрану	найбільша	висока, але менша РК	дешевша РК та плазми
Вага та Габарити	менші плазми та кінескопа	більші РК та менші кінескопа	Найбільші

### Хід роботи

1. Внести включений смартфон під окуляр мікроскопа.
2. Зафіксувати початок першого пікселя  $x_1$  за допомогою шкали мікроскопа (див. рис. 1.11).

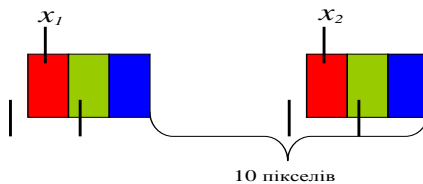


Рис. 1.11. Фіксація пікселів візором мікроскопа

3. Відрахувати 10 пікселів по горизонталі і визначити за допомогою шкали мікроскопа кінець 10 пікселя  $x_2$ .
4. Дослід повторити не менше п'яти разів для 10 пікселів в інших місцях екрана.
5. Повторити пункти 1 – 4 для 10 пікселів по вертикалі екрана з визначенням координати початку  $y_1$  і кінця  $y_2$ .
6. Виміряти штангенциркулем довжину  $Y$  та ширину  $X$  екрана смартфона.

#### Таблиця вимірювань

	$x_1$ , мм	$x_2$ , мм	$x_i$ , мм	$\Delta x_i$ , мм	$y_1$ , мм	$y_2$ , мм	$y_i$ , мм	$\Delta y_i$ , мм
1								
2								
3								
4								
5								
Ср.	-	-			-	-		

**X=**

**Y=**

#### Обробка результатів вимірювань

1. Визначити розміри пікселів по горизонталі і вертикалі за формулами (1) і (2).

$$x_i = \frac{x_2 - x_1}{10}, (1)$$

$$y_i = \frac{y_2 - y_1}{10}. (2)$$



2. Визначити абсолютні похибки вимірювань  $\Delta x_c$  і  $\Delta y_c$  за формулами:

$$\Delta x_i = |x_i - (x_i)_{cp}| \quad \text{і} \quad \Delta y_i = |y_i - (y_i)_{cp}|.$$

3. Визначити середньоквадратичну похибку вимірювань за формулами:

$$(\sigma_{\kappa\theta})_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n-1}} \quad \text{і} \quad (\sigma_{\kappa\theta})_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y_i^2}{n-1}},$$

де  $n$  – кількість вимірювань величин  $x$  і  $y$ .

4. Визначити випадкові похибки вимірювань величини  $x$  і  $y$  за формулами

$$\Delta x_\theta = \frac{t_c \cdot (\sigma_{\kappa\theta})_x}{\sqrt{n}} \quad \text{і} \quad \Delta y_\theta = \frac{t_c \cdot (\sigma_{\kappa\theta})_y}{\sqrt{n}},$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стюдента (для  $n=5$   $t_c=2,8$ ).

5. Результати вимірювань занести до таблиці вимірювань.

6. Обчислити площу пікселя за формулою  $S_c = (x_i)_{cp} \cdot (y_i)_{cp}$ .

7. Визначити відносну похибку вимірювання площі пікселя за

$$\text{формулою} \quad \varepsilon = \frac{\Delta S}{S_c} = \frac{\Delta x_\theta}{(x_i)_{cp}} + \frac{\Delta y_\theta}{(y_i)_{cp}}.$$

8. Записати кінцевий результат.

$$S = S_c \pm \Delta S$$

$$\varepsilon = \dots \%$$

9. Обчислити площу екрана за формулою  $S_e = X \cdot Y$ .

10. Визначити кількість пікселів екрану смартфона за

$$\text{формулою} \quad N = \frac{S_e}{S_c}.$$

### Контрольні запитання

1. Які пристрої забезпечують зв'язок між користувачем і комп'ютером?
2. Що таке монітор комп'ютера? Проектор?

3. Назвіть основні технічні характеристики монітора. Що називається роздільною здатністю монітора? Що таке піксел?
4. Назвіть основні типи моніторів.
5. Пояснити принцип роботи LCD-монітора.
6. Пояснити принцип роботи PDP-монітора.
7. Пояснити принцип роботи електронно-променевого монітора. Назвати різновиди ЕПТ-монітора.
8. Порівняти характеристики LCD, PDP і CRT-моніторів.
9. Як працюють електролюмінісцентні монітори?
10. Як працюють монітори на основі вуглецевих нанотрубок?

### **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА КРИВИЗНИ ЛІНЗИ CD- ROM КОМП'ЮТЕРА ЗА ДОПОМОГОЮ КІЛЕЦЬ НЬЮТОНА**

**Мета роботи:** визначити радіус кривизни лінзи за допомогою кілець Ньютона.

#### **Теоретичні відомості**

Лінза – це оптично прозоре тіло, обмежене двома сферичними, або сферичною та плоскою поверхнями. В сучасній комп'ютерній техніці лінзи використовуються в оптичних головках запису та читання інформації для фокусування лазерного променя.

Головним елементом головки читання/запису оптичних компакт-дисків є лазер. Принцип роботи головки читання/запису наступний.

Лазерний промінь пройшовши через призму (див. рис. 3.1) і дві фокусуєчі лінзи попадає на диск, що обертається, і після відбиття повертається на спеціальний фотоприймач (фотоелемент). При попаданні променя на піти і ленди (виступи та заглибини оптичного диска) він проходить різний шлях на прямому та зворотному шляху до фотоприймача. В результаті на вході фотоприймача відбувається інтерференція променя, відбитого від диска, і променя, заломленого призмою на

фотоприймач. Цей сумарний промінь і формує електричний сигнал, що по формі повторює інформаційний малюнок на поверхні CD.

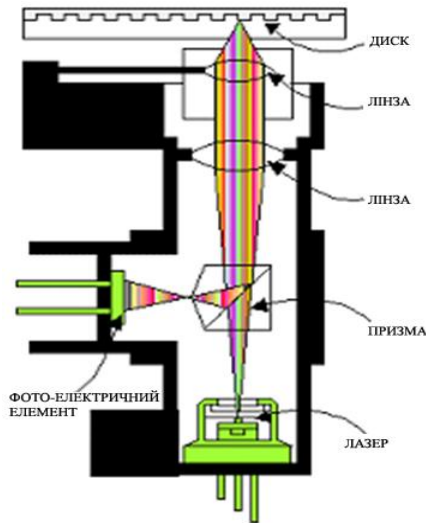


Рис. 3.1. Будова оптичної головки читання/запису

Дуже важливе значення для оптичної головки має числова апертура об'єктива. Вона визначає параметри освітлення і дорівнює:

$$A = n \sin \varphi_{\max}, \quad (1)$$

де  $\varphi_{\max}$  – максимальний кут заломлення променів в лінзі;  $n$  – показник заломлення лінзи. Наприклад, лінза, що використовується в накопичувачах CD-ROM, збирає пучок світла під кутом  $26,7^\circ$ , тому  $A$  для неї дорівнює 0,45. Лінза накопичувача DVD збирає пучок світла під кутом  $36,9^\circ$  ( $A=0,60$ ), в накопичувачах BD світлові промені виходять з лінзи під кутом  $58,2^\circ$  ( $A=0,85$ ) (див. рис. 3.2). Лінзи з більш високою числовою апертурою дають можливість створювати зображення з більшою роздільною здатністю. Апертура також визначає обмеження інформаційної ємності оптичних дисків. Інформаційний елемент, що записується (зчитується) не може

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика апертур CD, DVD та BD

Параметр	CD-ROM (650MiB)	CD-ROM (700MiB)	DVD-ROM	BD-ROM
Числова апертура лінзи лазера	0,45	0,45	0,60	0,85
Діаметр плями лазера, <i>мкм</i>	2,11	2,11	1,32	0,58

бути меншим половини діаметра  $d$  дифракційної плями (кружка Ері):

$$d = 1,22 \cdot \lambda / A, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі світла.

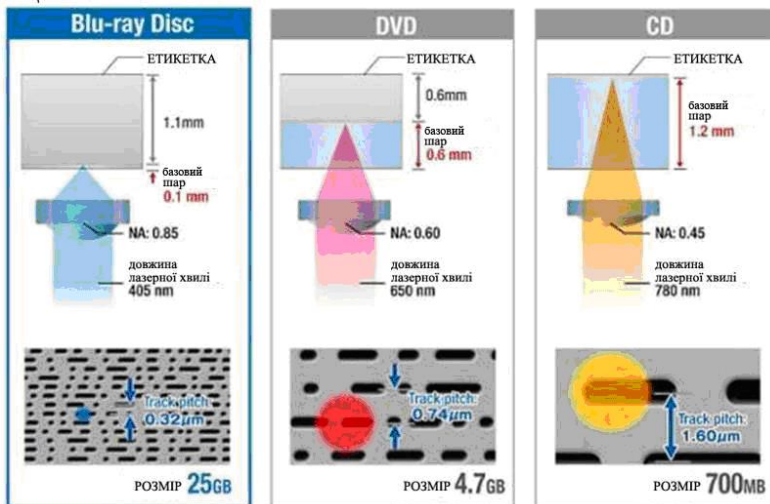


Рис. 3.2. Порівняльна характеристика CD, DVD та BD та величина кружка Ері

Об'єktiv лазера фокусує промінь на робочій поверхні диску. Глибина різкості складає не більше 2*мкм*. На поверхні прозорої основи CD лазерний промінь розфокусований. Діаметр

плями променя складає близько  $1\text{ мм}$ , а це приводить до того, що частинки пилу, відбитки пальців або подряпини на поверхні CD не можуть бути „прочитаними” лазерним променем (див. рис. 3.3).

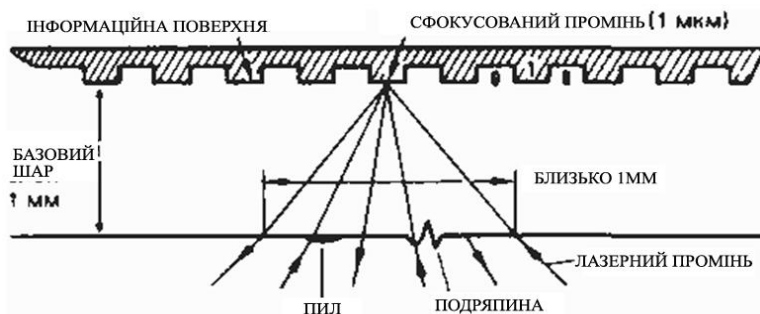


Рис. 3.3. Фокусування променя на робочу поверхню

Використовуючи явище інтерференції можна визначати радіуси плоско-опуклих лінз. Одним із методів є використання так званих кілець Ньютона. Якщо на плоску скляну пластинку  $E$  (рис. 3.4) покласти опуклим боком плоско-опуклу лінзу  $L$  з великим радіусом кривизни  $R$ , то, при освітленні монохроматичним (одноколірним) світлом, починаючи від місця стикання лінзи зі скляною пластинкою, спостерігається декілька концентричних темних і світлих кілець або, при освітленні білим світлом, райдужних кілець. Ці кільця дістали назву кілець Ньютона. Кільця Ньютона утворюють геометричні місця точок, в яких різниця ходу когерентних світлових променів стала внаслідок сталої товщини середовища (тому їх називають смугами однакової товщини). Зазначене явище є результатом інтерференції когерентних променів на дуже тонкому повітряному прошарку, товщина якого  $d$  поступово збільшується від місця дотику. Цей прошарок утворюється між кривою поверхнею лінзи і плоскою поверхнею пластинки. Кільця Ньютона можна спостерігати як у відбитому, так і в прохідному світлі. У першому випадку у центрі кілець буде темна пляма, а в другому – світла. Кільця у відбитому світлі видно краще, ніж в прохідному.

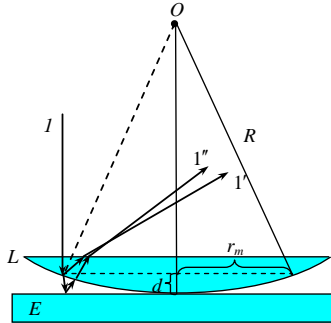


Рис. 3.4. Хід променів в пристрої "кільця Ньютона"

На рис. 3.4 зображено утворення двох когерентних променів  $1'$  та  $1''$  з одного променя  $1$ . Оскільки, між лінзою  $L$  і пластинкою  $E$  знаходиться повітря ( $n = 1$ ) і пучок світла падає нормально до пластинки та практично до нижньої поверхні лінзи (кривизна лінзи мала), то оптична різниця ходу  $\Delta$  світлових променів  $1'$  та  $1''$  у цьому випадку буде дорівнювати

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2},$$

де  $d$  – товщина повітряного прошарку в певному місці. Доданок  $\frac{\lambda}{2}$  в останній формулі виникає тому, що під час відбивання хвилі від межі середовища з більшим показником заломлення її фаза змінюється на  $\pi$ .

Як відомо, умови мінімумів та максимумів інтерференції когерентних променів математично виражаються так:

$$\Delta_{\min} = (2m+1) \frac{\lambda}{2},$$

$$\Delta_{\max} = 2m \frac{\lambda}{2},$$

де  $\Delta$  – оптична різниця ходу когерентних променів,  $\lambda$  – довжина хвилі,  $m$  – ціле число, котре в цьому випадку визначає порядковий номер кільця.

Згідно трьох останніх формул умова виникнення темних

кілець матиме вигляд:

$$2 \cdot d = m \cdot \lambda . \quad (3)$$

Величина  $d$  може бути виражена за теоремою Піфагора через радіус кривизни лінзи  $R$  і радіус темного інтерференційного кільця  $r_m$ . З рис. 3.4 знаходимо, що

$$r_m^2 = R^2 - (R - d)^2 = (2R - d)d .$$

Якщо  $d$  мале порівняно з  $R$ , то

$$r_m^2 = 2 R d . \quad (4)$$

З рівнянь (3) та (4) слідує, що

$$r_m^2 = m R \lambda . \quad (5)$$

З формули (5) видно, що залежність  $r_m^2$  від номера кільця  $m$  лінійна, тобто може бути представлена у вигляді

$$r_m^2 = \alpha m , \quad (6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, що має розмірність площі.

З формул (5) і (6) можна визначити радіус кривизни лінзи

$$R = \frac{\alpha}{\lambda} . \quad (7)$$

### Опис експериментальної установки

Дослід виконується за допомогою стереоскопічного мікроскопа, в одному з окулярів якого вмонтовано джерело монохроматичного світла відомої довжини хвилі  $\lambda$ .

Для оцінки лінійних розмірів видимого під мікроскопом об'єкта застосовується окуляр зі шкалою. Окуляр вставляють в одну з окулярних трубок.

На мікроскопі вказано, якій величині об'єкта відповідає одна поділка шкали окуляра при всіх збільшеннях мікроскопа. Щоб визначити лінійні розміри об'єкта, необхідно порахувати число поділок шкали, яке вкладається в його вимірювальну ділянку. Це число треба помножити на число, вказане в перевірній таблиці 3.2, що відповідає тому збільшенню мікроскопа, за якого проводилося вимірювання.

Таблиця 3.2

## Перевідна таблиця мікроскопа

Збільшення на шкалі ручок	Одна поділка шкали відповідає величині об'єкта в (мм)
1	0,1
2	0,15
4	0,025
7	0,014

**Хід роботи**

1. Ввімкнути освітлювач і перевірити, чи освітлюється поле зору мікроскопа.
2. Обертаючи діоптрійне кільце на окулярі, добитися різкого зображення шкали.
3. Покласти на предметний столик мікроскопа пристрій для спостереження кілець Ньютона.
4. Перемішувати пристрій "кілець Ньютона" так, щоб точка дотику лінзи і пластинки – темна пляма – опинилася точно в центрі поля зору мікроскопа. Кільця Ньютона повинні бути помітні виразно. Якщо цього немає, то потрібно відновити фокусування мікроскопа.
5. Заміряти радіуси темних кілець Ньютона відповідно до їх номерів (з урахуванням збільшення об'єктива). Значення довжини світлової хвилі  $\lambda$  вказується лаборантом чи викладачем.

**Обробка результатів вимірювань**

1. Обчислити для кожного кільця значення квадратів їх радіусів і результати занести до таблиці.
2. На міліметровому папері побудувати графік залежності  $r_m^2$  від  $m$  у вигляді прямої, що найкраще наближається до експериментальних точок (рис. 3.5).



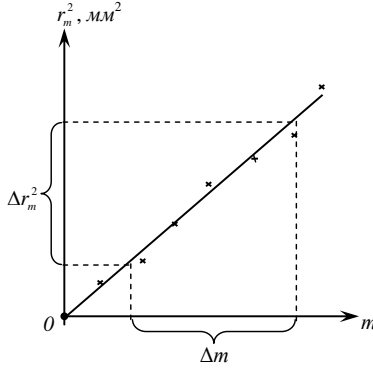


Рис. 3.5. Залежність  $r_m^2$  від  $m$

3. З графіка видно, що експериментальна залежність  $r_m^2$  від  $m$  є лінійною. За методом найменших квадратів знайдемо коефіцієнти рівняння  $r_m^2 = \alpha m + \beta$ , де  $\alpha$  визначається з формули (8),  $\beta$  – з формули (9).

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot (r_m^2)_i - N \cdot m_{cp} \cdot (r_m^2)_{cp}}{\sum_{i=1}^n m_i^2 - N \cdot (m_{cp})^2}, \quad (8)$$

$$\beta = (r_m^2)_{cp} - \alpha \cdot m_{cp}. \quad (9)$$

$N$  – кількість кілець.

Значення  $\beta$  не дорівнює нулю оскільки важко встановити пристрій "кілця Ньютона" точно по центру шкали. З врахуванням таблиці вимірювань

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot (r_m^2)_i - 6 \cdot 3,5 \cdot (r_m^2)_{cp}}{91 - 6 \cdot 3,5^2} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot (r_m^2)_i - 21 \cdot (r_m^2)_{cp}}{17,5},$$

$$\beta = (r_m^2)_{cp} - 3,5 \cdot \alpha$$

4. За формулою  $R = \frac{\alpha}{\lambda}$  визначити радіус кривизни лінзи (значення  $\alpha$  обчислене за формулою (6)).
5. Зробити висновок.

**Таблиця результатів вимірювань  $\lambda =$  \_\_\_\_\_**

							$\Sigma$	Ср.
$m_i$ ,	1	2	3	4	5	6	21	3,5
$m_i^2$ ,	1	4	9	16	25	36	91	-
$r_m$ ,								-
$r_m^2$ ,								-
$m_i \cdot (r_m^2)_i$								-

### **Контрольні запитання**

1. У чому полягає явище інтерференції світла? Що таке когерентні промені?
2. Записати і пояснити умови максимумів і мінімумів світла у випадку інтерференції когерентних променів.
3. Докладно пояснити як утворюються інтерференційні кільця Ньютона.
4. Вивести і пояснити формули для радіусів світлого і темного інтерференційних кілець Ньютона.
5. Що таке числова апертура лінзи? Що вона визначає?
6. Пояснити принцип роботи лазера.
7. Пояснити принцип роботи оптичної головки читання/запису.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4. ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА. ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ МАЛЮСА**

**Мета роботи:** порівняти дійсні значення відношень інтенсивностей поляризованого світла, що потрапляє і виходить

з аналізатора за різних значень кута поляризації, з їх значеннями згідно закону Малюса.

### Теоретичні відомості

Як відомо, світло – це електромагнітна хвиля, в котрій у взаємно перпендикулярних напрямках коливаються вектори напруженості електричного ( $\vec{E}$ ) та магнітного ( $\vec{H}$ ) полів. Вектори напруженості коливаються у напрямках, перпендикулярних до напрямку поширення хвилі. Світло, в якому коливання вектора  $\vec{E}$  (його ще називають *світловим вектором*) відбуваються лише в одній площині, називається *плоскополяризованим*. Якщо існує тільки переважний напрямок коливань світлового вектора, то світло називається *частково поляризованим*.

Якщо кінець світлового вектора описує еліпс, то світло називається *еліптично-поляризованим*. Таке світло можна представити як суму двох когерентних плоскополяризованих хвиль, площини коливань яких взаємно перпендикулярні. Проекції світлових векторів на відповідні осі змінюються за законом

$$\left. \begin{aligned} E_x &= A_1 \cos \omega t \\ E_y &= A_2 \cos(\omega t + \alpha) \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

При різниці фаз  $\alpha = \pi$  еліпс вироджується в пряму – маємо плоскополяризоване світло. При різниці фаз  $\alpha = \pi/2$  і рівності амплітуд еліпс перетворюється в коло. В цьому випадку маємо циркулярно-поляризоване світло (колова поляризація). В залежності від напрямку обертання світлового вектора розрізняють праву і ліву еліптичну і колову поляризації.

У природних джерел світла світлові хвилі випромінюються кожним атомом незалежно. Внаслідок цього напрямки коливань вектора  $\vec{E}$  (або  $\vec{H}$ ) світлової хвилі, залишаючись перпендикулярним до напрямку поширення, весь час змінює своє положення в просторі. Тому природне світло *неполяризоване*.

Площина, в котрій відбуваються коливання вектора  $\vec{E}$ ,

називається *площиною поляризації*. У природного світла площин поляризації безліч, у плоскополяризованого – одна.

Явище виділення плоскополяризованого світла з природного або частково поляризованого називається *поляризацією світла*, а прилади за допомогою яких його здійснюють – *поляризаторами*. На рис. 4.1 схематично зображено процес поляризації світла, що пройшло крізь поляризатор  $\Pi$  (стрілки вказують напрямки коливань світлових векторів  $\vec{E}$ ). У цьому випадку площина поляризації співпадає із площиною рисунка. Якщо на поляризатор падає природне світло інтенсивністю  $I_n$ , то з нього виходить поляризоване світло інтенсивністю  $I_0 = \frac{I_n}{2}$ .

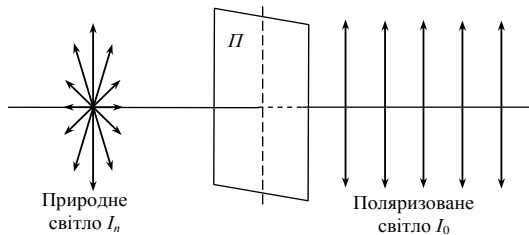


Рис. 4.1. Процес поляризації світла

Відрізнити поляризоване світло від природного можна за допомогою *аналізатора*, роль якого може виконувати будь-який поляризатор. Його розміщують по ходу поляризованого променя.

Нехай на аналізатор  $A$  падає поляризований промінь інтенсивністю  $I_0$  (рис. 4.2). Вектор  $\vec{E}_0$  падаючого поляризованого світла коливається під кутом  $\alpha$  до площини поляризації аналізатора. Цей вектор можна розкласти на дві складові, одна з яких  $E = E_0 \cos \alpha$  – паралельна до вищевказаної площини (див. рис. 4.2). Лише ця складова буде пропущена аналізатором, а складова, перпендикулярна до площини поляризації, буде поглинута аналізатором. Оскільки інтенсивність світла пропорційна квадрату амплітуди коливань світлового вектора, то інтенсивність світла  $I$ , що пройшло крізь

аналізатор, можна визначити за формулою

$$I = I_0 \cos^2 \alpha . \quad (2)$$

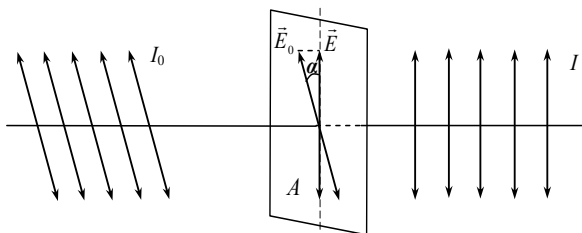


Рис. 4.2. Ілюстрація закону Малюса

Співвідношення (2) є математичним записом закону Малюса.

Існують середовища, які можуть повертати площину поляризації променя. Такі середовища називаються *оптично активними*. В них площина поляризації світла обертається навколо напрямку поширення променя. Кут повороту  $\varphi$  пропорційний до шляху  $\ell$ , пройденому променем в речовині:

$$\varphi = \alpha \ell . \quad (3)$$

Коефіцієнт  $\alpha$  називають постійною обертання.

Зокрема на обертанні площини поляризації променя побудований принцип читання магнітооптичних (МО) дисків. Принцип роботи МО накопичувача базується на суміщенні магнітного запису і зберігання даних з оптичним принципом читання інформації.

*Принцип читання* інформації з МО-диску базується на *магнітооптичному ефекті*. Він полягає у впливі намагнічення середовища на інтенсивність і поляризацію світла, відбитого від його поверхні. Цей ефект досить помітний для речовин зі здатністю до значного намагнічення і з високим коефіцієнтом поглинання, тобто для металічних феромагнетиків. Якщо плоскополяризований промінь відбивається від поверхні намагніченого феромагнетика, то він стає еліптично поляризованим, при цьому велика вісь еліпса поляризації

повертається на деякий кут по відношенню до площини поляризації падаючого світла (див. рис. 4.3).

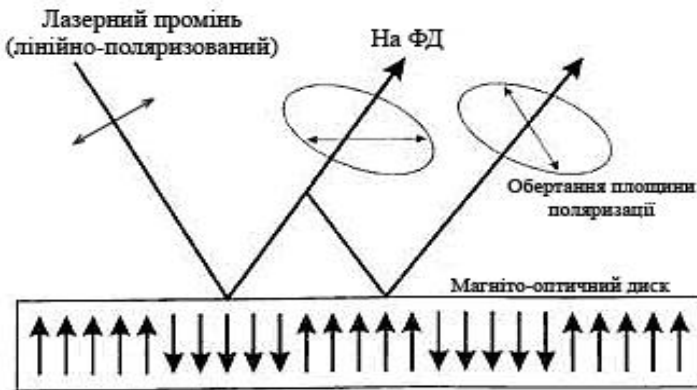


Рис. 4.3. Повертання площини поляризації променя головки зчитування після відбиття від поверхні МО-диска

Відбиваючим елементом для лазерного променя, що повертає площину його поляризації, в випадку МО-диску є намагнічена при запису точка поверхні робочого шару. Фотоприймач (ФП) оптичної головки зчитування сприймає відбитий промінь і аналізує величину повороту площини поляризації променя. Таким чином, визначається напрямок намагнічення ділянки диску і значення біта інформації на цій ділянці.

### Опис експериментальної установки

Експериментальна установка складається із світлонепроникного циліндра, вздовж осі якого знаходиться: джерело світла  $D$  (лампа розжарення), розміщене у фокальній площині збиральної лінзи  $L$ , поляризатор  $P$ , аналізатор  $A$  та фотоеlement  $\Phi$ , приєднаний до гальванометра  $\Gamma$  (рис. 4.4). Аналізатор можна повертати навколо осі циліндра, змінюючи положення його площини поляризації.

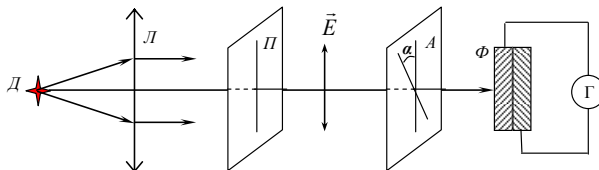


Рис. 4.4. Схема експериментальної установки

За допомогою лінзи створюється потік паралельних світлових променів від джерела, що проходять спочатку крізь поляризатор, а потім крізь аналізатор. Пройшовши крізь аналізатор, світло потрапляє на фотоелемент. Сила струму  $i$  в колі фотоелемента, що вимірюється гальванометром, пропорційна до інтенсивності світла  $I$ . Тому

$$\frac{i}{i_0} = \frac{I}{I_0}, \quad (4)$$

де  $i_0$  – максимальна сила струму за максимальної інтенсивності світла  $I_0$  ( $\alpha = 0$ ).

### Хід роботи

1. Виставити покажчик кута повороту аналізатора на нуль і, обертаючи поляризатор, добитися проходження через гальванометр струму максимальної сили.
2. Регулюючи силу струму лампочки розжарення освітлювача та змінюючи режим роботи кола гальванометра, добитися відхилення стрілки гальванометра на всю шкалу і записати це значення  $i_0$  в таблицю.
3. Обертаючи аналізатор з кроком  $10^\circ$ , зняти покази гальванометра для кожного з кутів від  $0$  до  $90^\circ$ . Відповідні значення кутів  $\alpha$  та сил струмів  $i$  занести до таблиці.
4. Для кожного з кутів  $\alpha$  розрахувати функцію

$$y = \frac{i}{i_0}. \quad (5)$$

5. Для кожного значення кута  $\alpha$  обчислити значення квадрату його косинуса ( $\cos^2 \alpha$ ) та занести результат до таблиці.
6. Побудувати графік залежності  $y$  від  $\cos^2 \alpha$ . Згідно закону

Малюса ця залежність повинна зводиться до виразу  $y = \cos^2 \alpha$ .

7. За методом найменших квадратів знайдемо коефіцієнти рівняння  $y = a \cos^2 \alpha + b$ , де величину  $a$  знаходимо з формули (6),  $b$  – з формули (7).

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (\cos^2 \alpha)_i \cdot y_i - n \cdot (\cos^2 \alpha)_{cp} \cdot y_{cp}}{\sum_{i=1}^n (\cos^2 \alpha)_i^2 - n \cdot ((\cos^2 \alpha)_{cp})^2} \quad (6)$$

$$b = y_{cp} - a \cdot (\cos^2 \alpha)_{cp} \quad (7)$$

Якщо  $a \approx 1$  то закон Малюса справджується

8. Зробити висновок щодо виконання закону Малюса.

**Таблиця результатів вимірювань**  $i_0 = \underline{\hspace{2cm}}$

					$\Sigma$	Ср.
$A$					---	---
$I$					---	---
$y = \frac{i}{i_0}$						
$\cos^2 \alpha$						
$(\cos^2 \alpha)^2$						

### Контрольні запитання

1. Яке світло називають поляризованим?
2. Яка причина того, що природне світло неполяризоване?
3. Яке світло називають плоскополяризованим, еліптично-поляризованим, циркулярно-поляризованим?
4. В яких пристроях сучасного комп'ютера застосовується поляризоване світло? Пояснити технологію його отримання та застосування.
5. Записати і сформулювати закон Малюса.



6. Записати формулу і пояснити закон Брюстера.
7. У чому полягає суть явища подвійного променезаломлення.
8. Пояснити принцип роботи призми Ніколя.
9. Які речовини називаються оптично активними?
10. Пояснити принцип зчитування інформації з магнітооптичних дисків.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ

**Мета роботи:** 1) зняти вольт-амперні характеристики фотоелемента; 2) перевірити закон обернених квадратів.

### Теоретичні відомості

При опромінюванні речовини з малою роботою виходу з її поверхні вже в області світла спостерігається виліт електронів і це явище називається фотоефектом. Фотоефект пояснюється фотонною теорією світла, а саме: при взаємодії з речовиною світло проявляє корпускулярні властивості і його можна розглядати як *потік фотонів з енергією  $h\nu$*  і імпульсом  $h\nu/c$  ( де  $h$  – постійна Планка,  $\nu$  – частота світла,  $c$  – швидкість світла у вакуумі). При зіткненні фотона з електроном фотокатода енергія фотона повністю передається електрону і енергетичний баланс цього процесу описується рівнянням Ейнштейна:

$$h\nu = A + E_{\text{max}} , \quad (1)$$

де  $E_{\text{max}}$  – максимальна кінетична енергія фотоелектрона,  $A$  – робота виходу електрона з матеріалу катода.

Електрони, що вилітають з катода, прискорюються під дією різниці потенціалів між катодом і анодом і рухаються в напрямку анода, створюючи фотоелектричний струм. Чим більша освітленість катода, тим більша кількість електронів вибивається з його поверхні і тим більша буде сила струму насичення, яка спостерігається при високих анодних напругах. Оскільки освітленість катода  $E$  обернено пропорційна до квадрату віддалі  $r$  від освітлювача до катода, то і сила струму

насичення буде обернено пропорційна до  $r^2$ . Тобто

$$\frac{I_{1\text{ нас}}}{I_{2\text{ нас}}} = \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2, \quad (2)$$

де  $I_{1\text{ нас}}$  та  $I_{2\text{ нас}}$  – сили фотострумів насичення для віддалей відповідно  $r_1$  та  $r_2$ . Співвідношення (2) називають законом обернених квадратів.

Явище фотоефекту застосовується в комп'ютерній техніці, наприклад, в лазерній технології друку принтерів. Принцип роботи лазерних принтерів, який ще називають *електрофотографічним*, наступний: полягає в точному позиціонуванні точки на сторінці за допомогою зміни електричного заряду на спеціальній плівці з фотопровідного напівпровідника. Найважливішим конструктивним елементом лазерного принтера є обертовий фотобарабан, за допомогою якого відбувається перенесення зображення на папір (див. рис. 5.1). Фотобарабаном є металевий циліндр, на якому закріплена тонка негативно заряджена плівка з фотопровідного напівпровідника. На тонкий дріт (сітку), який називається коронуючим дротом (коронуючою сіткою), подається висока напруга, яка створює іонізовану область (корону).

Лазер, керований мікроконтролером, генерує тонкий світловий промінь, який відбивається від рухомого дзеркала. Цей промінь, потрапляючи на фотобарабан, внаслідок фотоефекту в потрібних точках плівки вибиває з поверхні електрони і, тим самим, змінює потенціал цих точок. Для деяких типів принтерів потенціал поверхні барабана збільшується від -900 до -200В. Таким чином, на фотобарабані виникає копія зображення у вигляді потенціального рельєфу.

За допомогою іншого барабана, який називається девелопером, на фотобарабан наноситься тонер – найдрібніший фарбувальний пил. Цей пил також електрично заряджений. Під дією статичного заряду дрібні частинки тонера легко притягуються лише до тих точок фотобарабана, що піддалися дії променя, і формують на ньому зображення (див. рис. 5.2).

Аркуш з лотка подачі паперу за допомогою системи валиків переміщується до барабана. Йому надається статичний

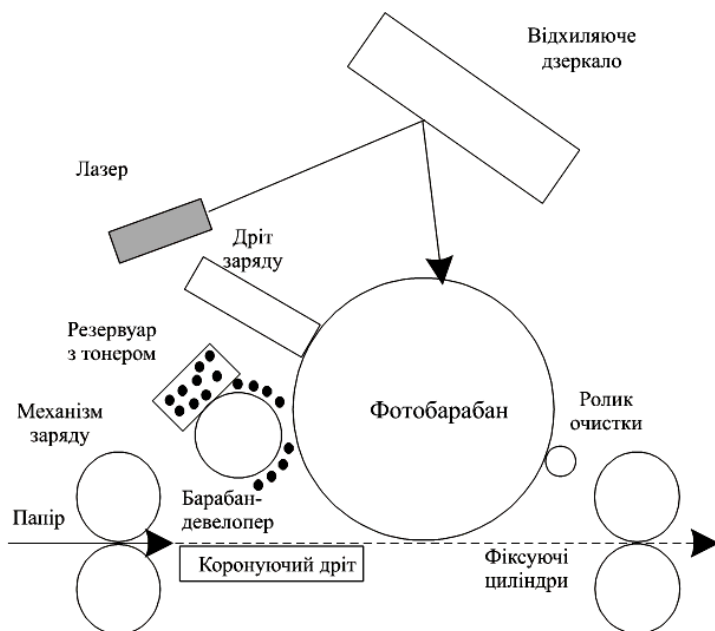


Рис. 5.1. Функціональна схема лазерного принтера

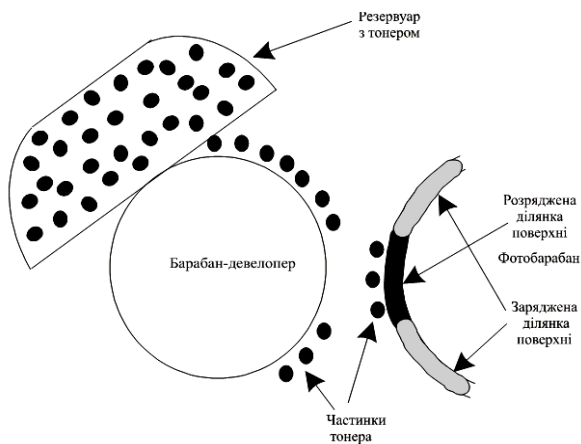


Рис. 5.2. Створення копії зображення на фото барабані

заряд, протилежний по знаку заряду засвічених точок на

барабані. При дотику паперу до барабана частинки тонера з барабана переносяться (притягуються) до паперу.

Для фіксації тонера на папері аркуш пропускається між двома роликami, які нагрівають його до температури близько  $180^{\circ}\text{--}200^{\circ}\text{C}$ . Нагрівання забезпечує закріплення фарби тонера на папері. Після процесу друку барабан повністю розряджається, очищається від частинок тонера і готується до нового циклу друку. Описана послідовність дій відбувається дуже швидко і забезпечує високу якість друку.

### Опис установки

Для дослідження зовнішнього фотоефекту використовують схему показану на рис. 5.3. Напруга, що подається на фотоелемент –  $\Phi$  від джерела постійного струму –  $B$ , змінюється за допомогою потенціометра –  $\Pi$  і вимірюється вольтметром –  $V$ . Сила фотоструму вимірюється за допомогою мікроамперметра –  $\mu\text{A}$ . Електричне коло замикається за допомогою ключа  $K$ .

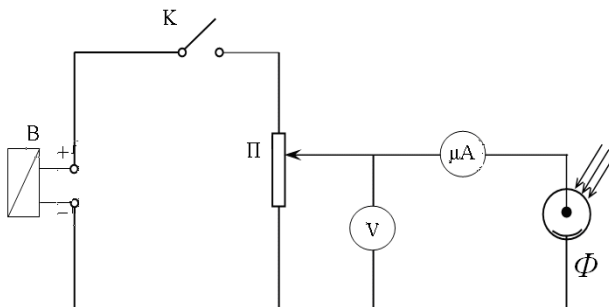


Рис. 5.3. Електрична схема дослідження фотоефекту

### Хід роботи

1. Розмістити освітлювач, по можливості, найближче до фотоелемента і виміряти віддаль між ними  $r_1$ . Увімкнути освітлювач.
2. Збільшуючи напругу між катодом і анодом (від нуля до максимально допустимої напруги), записати відповідні значення сили струму в таблицю 1.

- Змінити віддаль між освітлювачем і фотоелементом на  $r_2$ , далі від фотоелемента.
- Збільшуючи напругу між катодом і анодом (від нуля до максимально допустимої напруги), записати відповідні значення сили струму в таблицю 2.
- Побудувати на одному графіку вольт-амперні характеристики для двох різних віддалей  $r$  від освітлювача до фотоелемента.
- Перевірити закон обернених квадратів обчисливши окремо відношення  $\frac{I_{1\text{нас}}}{I_{2\text{нас}}}$  ( $I_{1\text{нас}}$  і  $I_{2\text{нас}}$  – фотоструми насичення) і відношення  $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$  і порівнявши між собою.
- Зробити висновок.

### Таблиці вимірювань

$r_1 = \underline{\hspace{2cm}}$

$I, \mu A$

$U, V$

$r_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

$I, \mu A$

$U, V$

### Контрольні запитання

- Що таке фотоефект?
- Пояснити природу виникнення фотоефекту.
- Нарисувати і пояснити вольт-амперну характеристику фотоелемента.
- Сформулювати закони фотоефекту.
- Записати і пояснити рівняння Ейнштейна для фотоефекту.

6. Пояснити будову і принцип дії вакуумного фотоелемента.
7. Які бувають принтери? Пояснити принцип роботи лазерного принтера.

## Література

1. Лебедь О. О., Орленко В. Ф., Кочергіна О. Д. Фізичні основи інформаційних систем : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 185 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2593> (дата звернення: 10.03.2020).
2. Лебедь О. О., Мислінчук В. О., Пастушенко В. Й. Фізичні основи комп'ютерно-інтегрованих інформаційних систем: навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2015. 352 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2730> (дата звернення: 10.03.2020).
3. Загальна фізика. Частина І: інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / М. О. Ковалець та ін. Рівне : НУВГП, 2009. 396 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2084> (дата звернення: 10.03.2020).
4. Загальна фізика. Частина ІІ: інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / Д. І. Олексин та ін. Рівне : НУВГП, 2009. 457 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2085> (дата звернення: 10.03.2020).
5. Мюллер С. Модернизация и ремонт ПК, 17-е издание. М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2008. 1360 с.
6. Вениаминов А. В., Михайлов В. Н. Оптические системы записи, хранения и отображения информации : учебное пособие. Изд. 1. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 94 с. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/636.pdf> (дата звернення: 10.03. 2020)
7. Жеребцов И.П. Основы электроники. Ленинград: Энергоатомиздат, 1989. 352 с. URL: [http://publ.lib.ru/ARCHIVES/I/JEREBCOV Ivan Petrovich/ Jerebcov I.P..html#0004](http://publ.lib.ru/ARCHIVES/I/JEREBCOV_Ivan_Petrovich/Jerebcov_I.P..html#0004) (дата звернення: 10.03. 2020)
8. Гершунский Б. С. Основы электроники и микроэлектроники. Киев : Выща школа, 1989. 424 с.

9. Смаккоу М. Физические основы записи информации. Москва: Связь, 1980. 192 с.

10. Капцов Л. Н. Физика элементов ЭВМ. Москва : Издательство МГУ, 1983. 240 с.

11. Кичак В. М., Бортник Г. Г., Семенюк О. А. Засоби оргтехніки та зв'язку : навчальний посібник. Вінниця : ВДТУ, 2001. 300 с.

*Приклад оформлення титульної сторінки*

***НУВГП***

***Кафедра хімії та фізики***

***Звіт***

***про виконання практичної роботи №\_\_\_\_\_***

***на тему: "Дослідження зовнішнього фотоефекту".***

***Виконав:***  
***ст. ПМ-31***  
***Яковчук А.А***  
***Перевірів:***  
***Лебедь О.О.***

***Рівне 2020 р***



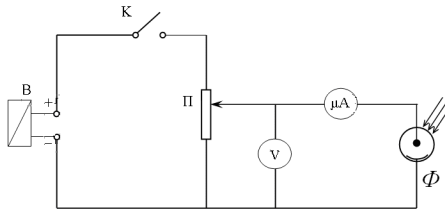
## Приклад оформлення звіту

**1. Мета роботи:** 1) зняти вольт-амперні характеристики фотоелемента; 2) перевірити закон обернених квадратів.

**2. Робоча формула:**

$$\frac{I_{1\text{нас}}}{I_{2\text{нас}}} = \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

де  $I_{1\text{нас}}$  та  $I_{2\text{нас}}$  – сили фотострумів насичення для віддалей відповідно  $r_1$  та  $r_2$ .



**3. Результати вимірювань:**

$r_1 =$

$I, \mu A$									
$U, B$									

$r_2 =$

$I, \mu A$									
$U, B$									

**4. Обробка результатів вимірювань**

**5. Кінцевий результат**